Pedobiologia 30, 389—399 (1987)
VEB Gustav Fischer Verlag Jena

Fachgebiet Bodenbiologie, Institut für Bodenkunde und Standortslehre,
Universität Hohenheim, Stuttgart, BRD

# Ein Bewässerungsversuch zur Dynamik von Humusprofilen in Nadelholzbeständen mit Wuchsstörung

EVANGELIA VAVOULIDOU-THEODOROU und ULRICH BABEL

Mit 5 Abbildungen

(Angenommen: 87-03-20)

## 1. Einleitung

Die morphologischen Merkmale, durch die Humusprofile beschrieben und den systematischen Einheiten, den Humusformen, zugeordnet werden, sind Ausdruck der Prozesse, die in ihnen ablaufen. Da viele dieser Prozesse aber von außerhalb wirken, wird durch morphologische Humusprofiluntersuchungen ein Beitrag zum Verstehen des ganzen Ökosystems geliefert.

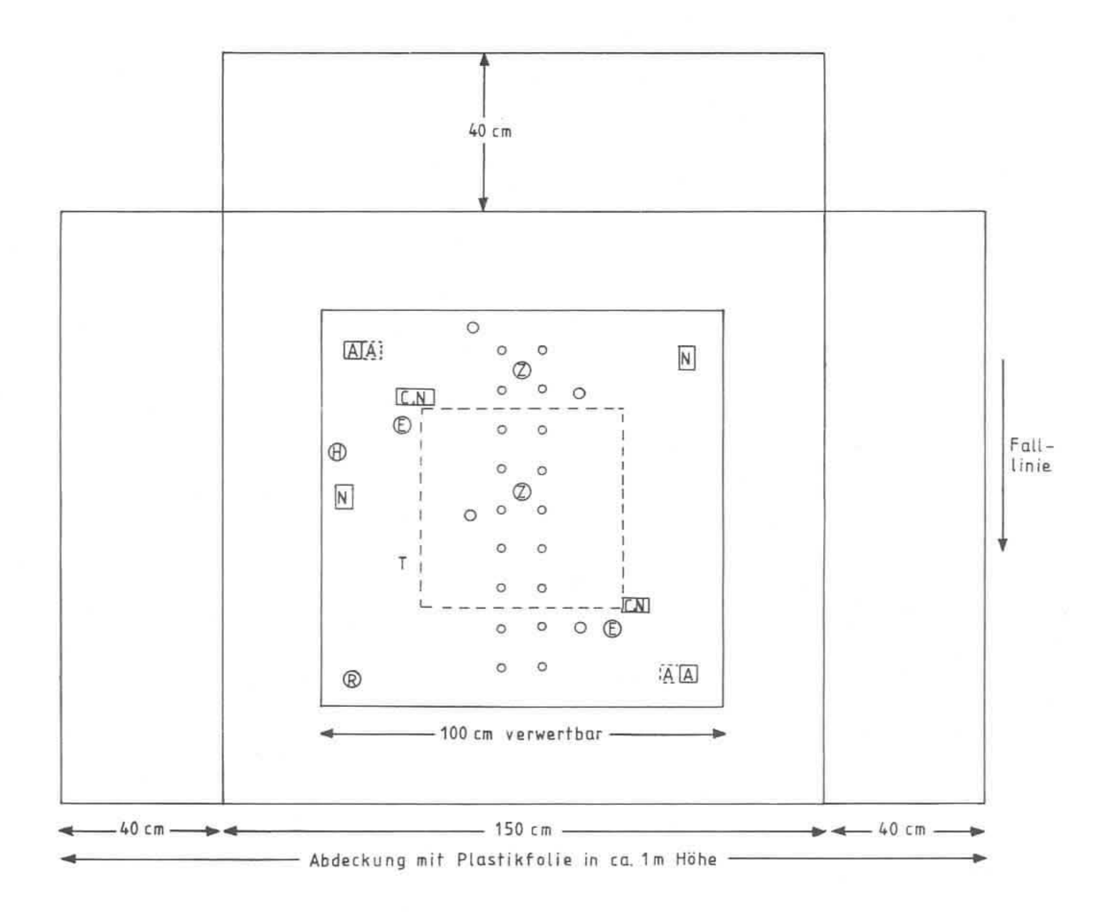
In Fichtenbeständen im Südwesten der BRD, die eine extrem geringe Wuchsleistung („Wuchsstörung" im Sinne der baden-württembergischen forstlichen Standortskartierung) zeigen, werden auffallende Humusprofile gefunden. Sie zeichnen sich aus durch Humusauflagen mittlerer, manchmal auch hoher Mächtigkeit, obwohl der Mineralboden meist keine Podsolierung, oft auch keine Versauerung zeigt („Oberbodenstörung": MÜLLER 1971). Die Humusauflagen enthalten hohe Feinwurzelkonzentrationen und sind durch Pilzmyzel verfilzt. Daraus wurde die Hypothese abgeleitet, daß durch Trockenheit — vor allem Wechseltrockenheit — im Hauptwurzelbereich die Wurzelproduktion extrem erhöht werde (BABEL 1981a). Um die Hypothese zu prüfen, wurde in einem Fichtenwuchsstörungsbestand ein Versuch mit manipuliertem Wasserhaushalt angelegt (VAVOULIDOU-THEODOROU 1983). Die Wurzelproduktionsergebnisse dieses Versuchs wurden an anderer Stelle mitgeteilt und diskutiert (VAVOULIDOU-THEODOROU & BABEL 1986). In der vorliegenden Arbeit wird gefragt, wie sich die Manipulation des Wasserhaushalts auf die Dynamik des Humusprofils auswirkt — vor allem: Werden die genannten auffallenden Merkmale durch Trockenheit weiter verstärkt, durch Feuchtigkeit abgeschwächt? Ist diese Humusform also durch Trockenheit in den Umsetzungen gestört?, in allen Umsetzungen?

Die Arbeit ist, nach BABEL & LENGOC (1977) und BABEL (1981b), ein drittes Beispiel, in dem durch humusmorphologische und andere standortskundliche Untersuchungen die Grundzüge der Dynamik spezieller Humusprofile in sich und im Zusammenhang mit den ganzen Ökosystemen geklärt werden sollen.

## 2. Untersuchungsfläche

Es wurde ein geringwüchsiger, 60jähriger Fichtenbestand mit geschlossenem Kronendach auf schwach geneigtem Nordhang auf der Schwäbischen Alb ausgewählt (Gemeindewald Eglingen, Forstbezirk Engstingen). Der Bodentyp war eine Rendzina aus dolomitischem Massenkalk des Weißjura (weitere Angaben in VAVOULIDOU-THEODOROU 1983).

Das Humusprofil war ausgezeichnet durch eine Humusauflage von 15—50 mm Mächtigkeit (im Mittel 25 mm) mit dem mittleren $p$H ($H_2O$) 4,5. Die Horizonte hatten die mittleren Mächtigkeiten: L + Fr = 7 mm, Hr = 9 mm, H + Ahh = 18 mm, Ahl = 80 mm ($p$H 7,3), Ah2 = 70 mm (Horizont-Terminologie nach BABEL 1971). Der Ah1 war mäßig humos, der Ah2 schwach humos. Darunter folgte ein Cv-Horizont. — Zu bemerken ist also, daß ein Fm-Horizont fehlt, und der




o : Gravimetrische Wassergehalte, Korkbohrer, alle 14 Tage, L, F + H, Ahh

O : Gravimetrische Wassergehalte, Rusekbohrer, alle 6 Wochen bis zum Gestein

T : Tensiometer bei der Variante c und d, 2 mal pro Woche abgelesen

A Ä : Anschliff, evtl. 2 Anschliffe, damit der Mineralboden bis zu 4 cm erfaßt wird. 3.10.80

R : Rhizoskop alle 14 Tage — Z : Zellulosebeutel 1.9.–3.10.80

N : Wurzelnetze (1.9.–1.10.80) — C,N : C, N - Stechzylinderproben 1.10.80

H : Hyphennetze (1.9.–2.10.80)

E : Enchytraeen - Stechzylinderproben 1./3.10.80 — ⌜⌟ : Regenwürmer 1./3.10.80

Abb. 1. Anordnung der Kleinflächen mit Untersuchungspunkten.

Hauptteil des H mit stark humosem mineralischem Material unregelmäßig vermischt ist („H + Ahh“).

## 3. Methoden

### 3.1. Manipulation des Wasserhaushalts

Die Anlage des Versuchs ging davon aus, daß im Zwischenstammbereich eine Mischdurchwurzelung durch zahlreiche Bäume besteht, und daß diese Feinwurzeln in relativer Unabhängigkeit vom Zustand des einzelnen Baumes kleinörtlich auf verschiedenen Wasserhaushalt reagieren. Kleinörtliche Reaktion anderer Bestandteile des Humusprofils war ohnehin zu erwarten.

Es wurden für 4 Versuchsvarianten je 6 Kleinflächen 1,5 × 1,5 m eingerichtet, in deren innerem Teil 1 m × 1 m die Untersuchungen auszuführen waren (Abb. 1). Vom 1. 5. bis 1. 10. 1980 wurden folgende Wassermengen durch natürliche Niederschläge bzw. Gießen zugeführt:

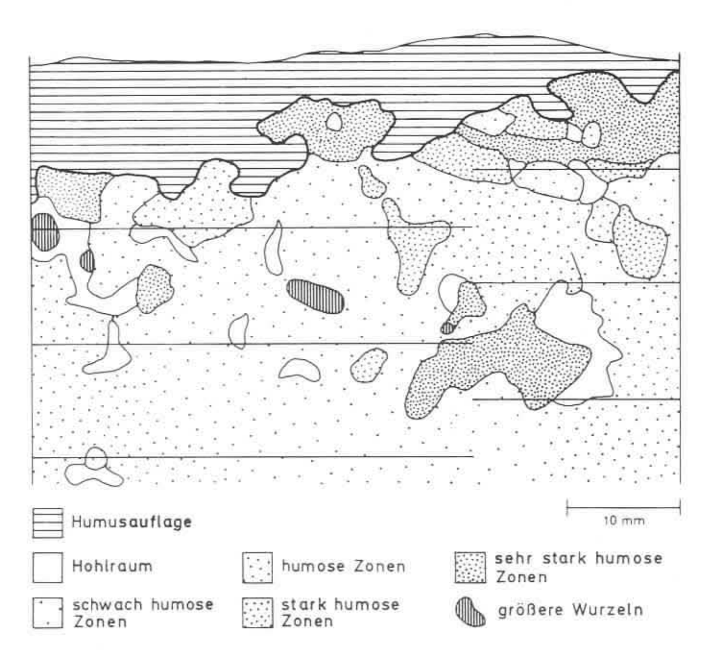



Abb. 2. Zur Bestimmung der Grenzlinienlänge (dicke Linie, hier Grenzlinienlänge/Anschliffbreite = 105 mm/58 mm) und der Farbheterogenität (horizontale Testlinien in 5, 15, 25 mm Tiefe unter MBO): obere 35 mm eines der untersuchten Anschliffe.

a) gleichtrocken: Kleinflächen in ca. 1 m Höhe abgeschirmt — 60% der langjährigen Monatsmittelwerte wurden in gleichen Mengen auf 2× wöchentliches Gießen verteilt. (Zur Berechnung wurde von den Mittelwerten der nahegelegenen Station Bernloch des Deutschen Wetterdienstes die Interzeption abgezogen, die im Versuchsbestand im Jahr vorher zu 35% bestimmt worden war.) — Insgesamt 165 mm;
b) wechseltrocken: Kleinflächen in ca. 1 m Höhe abgeschirmt. Wassermengen in Höhe von 60% der langjährigen Monatsmittelwerte minus Interzeption wurden so verteilt, daß 11—17tägige Gieß- mit 25—33tägigen Trockenperioden abwechselten. (Die letzte Trockenperiode begann am 17. 9.) — Insgesamt 165 mm;
c) unbeeinflußt: nicht abgeschirmt. — Natürliche Niederschläge, wegen erheblicher Überschreitung des langjährigen Mittels wurde jedoch vom 29. 7. bis 5. 8. abgeschirmt. — Insgesamt 282 mm;
d) frisch-feucht: nicht abgeschirmt. — Natürliche Niederschläge, die durch Gießen auf 150% der langjährigen Monatsmittel minus Interzeption erhöht wurden. Mehr als 4 Tage hintereinander ohne Wasserzufuhr wurden vermieden. — Insgesamt 404 mm.

(Weitere Details siehe V.-Th. 1983.)

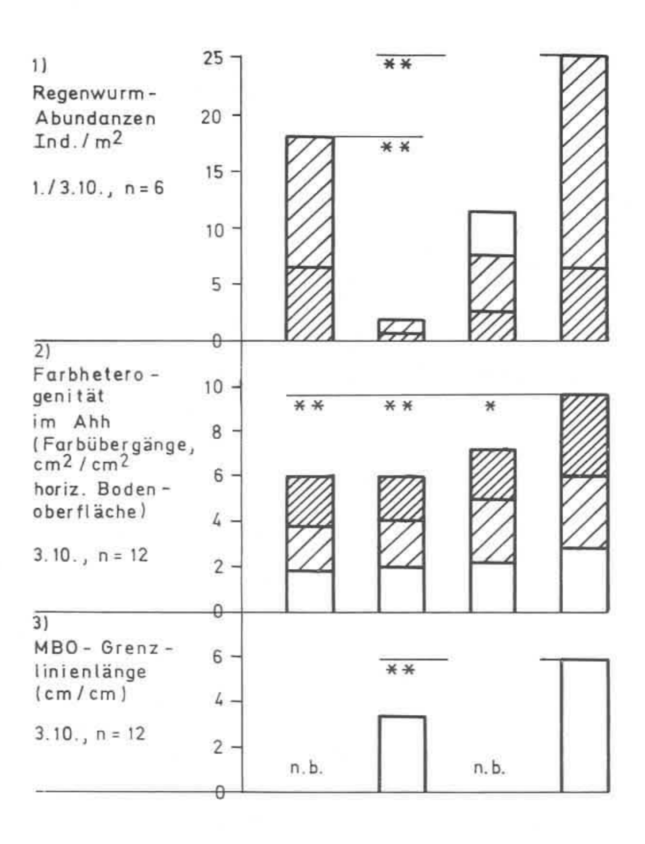
## 3.2. Untersuchungsmethoden

Auf den Kleinflächen wurden nach dem in Abb. 1 angegebenen Plan die folgenden Arbeiten ausgeführt. [Der Umfang (n) der Stichproben ist jeweils bei den Ergebnissen — Abb. 3, 4, 5 — vermerkt].

Regenwurmabundanzen wurden Anfang Oktober 1980 mit der Formaldehydmethode (Raw 1959) ermittelt: 8—10 l 0,2%iges Formaldehyd auf 50×50 cm große Teilflächen.

Farbheterogenität (Abb. 2) wurde als Indikator für die Aktivität von Regenwürmern im Ah-Horizont verwendet. Durch ihre Fraß- und Vermischungstätigkeit entsteht in diesem Horizont ein fleckiges Muster von kleinen Gefügebereichen unterschiedlicher Farbe, bedingt durch verschiedene Humusgehalte. Bei mittlerer Regenwurmaktivität erhält man höhere Farbheterogenität als bei geringer und bei hoher.

Das Prinzip der Messung war ein stereologisches Schnittpunktverfahren, angewandt an der Oberfläche von Bodenanschliffen. Bestimmt wurde die Größe der Grenzfläche $S_V$ zwischen Bereichen verschiedener Farbe nach der stereologischen Formel: $S_V = 2\ I_L$ ($I_L$: Zahl der Schnittpunkte mit Testlinien der Gesamtlänge L. Weibel 1979). Die angegebene, in der Stereologie übliche Schreibweise der Formel ist zu lesen als: S [cm²]/V [cm³] = 2 I/L [cm]. Gezählt wurde die Anzahl eindeutiger und scharfer Farbwechsel auf den Teststrecken (Eichung an einem Standardfoto). Stereomikroskop



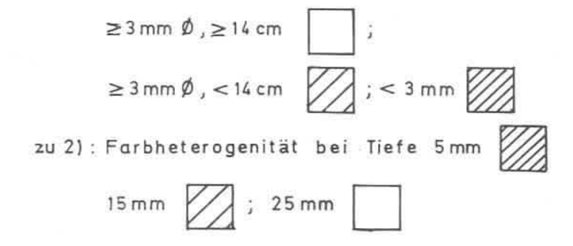
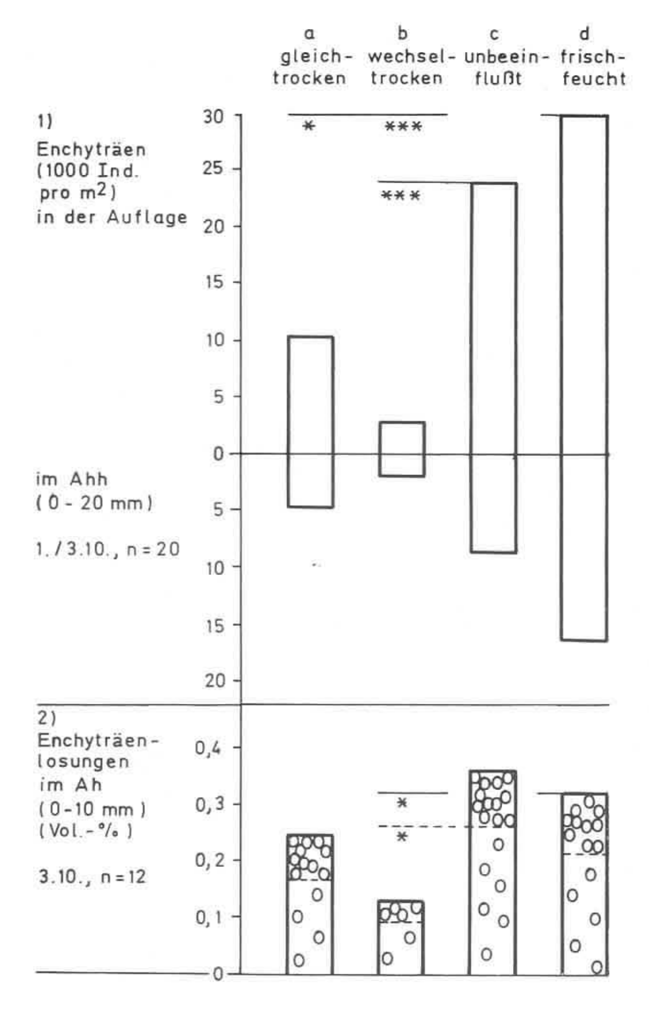




Abb. 3. Regenwürmer und Spuren ihrer Tätigkeit bei verschiedenem Wasserhaushalt, *, **, ***: statistische Signifikanz der Differenzen nach t-Test.

10×, 3 Testlinien in 5, 15, 25 mm unter Mineralbodenoberfläche (MBO)*) über die ganze Anschliffbreite.

Zur Herstellung der Anschliffe wurden luftgetrocknete Bodenproben (Kubienakästen, Breite 58 mm, 0—80 mm ab MBO) in das Polyester-Harz Vestopal nach dem bei der Bodendünnschliffherstellung üblichen Verfahren (Altemüller 1962) eingebettet, und nach Härtung aufgesägt, angeschliffen und mit Deckgläsern und Vestopal eingedeckt.

*) MBO = Mineralbodenoberfläche.




zu 1) beziehen sich die Angaben zur stat. Sicherung auf die Summe Auflage + Ah.

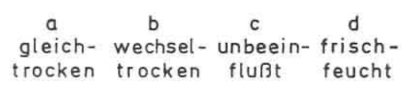
zu 2) Losungen ± lose [o o], verbacken [ooo]

Abb. 4. Enchyträen und Enchyträenlßsungen bei verschiedenem Wasserhaushalt.

Grenzlinienlängen (Abb. 2) von Humusauflage zum Mineralboden sind in solchen Humusprofilen ebenfalls Indikatoren für Regenwurmaktivität, da Material aus der Humusauflage von Regenwürmern in den Mineralboden eingearbeitet wird und umgekehrt, was die Grenzlinie verlängert. Damit gibt das Merkmal auch einen Prozeß an, der zur Verminderung der Humusauflage führt.

Im Prinzip handelt es sich um einen einfachen Fall des Bogen-Sehne-Verfahrens (Maier-Kühne & Babel 1987), wie es schon von Beckmann & Smith (1974) angewandt wurde. Zunächst wurden die Grenzlinien an den Anschliffoberflächen mit Stereomikroskop und Zeichengerät im Maßstab 4,5:1 gezeichnet. Dabei wurde mit einer morphologischen Auflösung von 1 mm gearbeitet: Einschlüsse von Mineralboden in die Auflage und umgekehrt wurden nicht gezeichnet, wenn sie in der Natur weniger als 1 mm breit waren. Größere Einschlüsse wurden gezeichnet, sie trugen in vielen Präparaten erheblich zur Verlängerung der Grenzlinie bei.

Die Grenzlinienlänge (Bogen) wurde dann mit einem halbautomatischen Bildanalysegerät (MOP-AM 02, Fa. Kontron) bestimmt und ihr Verhältnis zur Anschliffbreite (Sehne) berechnet.



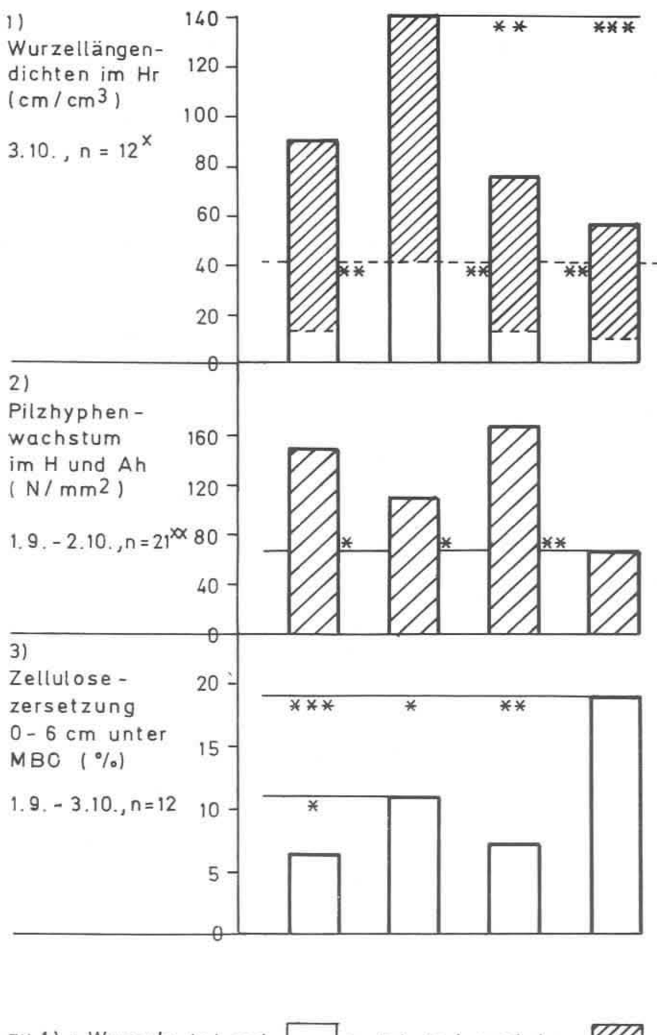




Abb. 5. Wurzeln, Pilzhyphen und Zellulosezersetzung bei verschiedenem Wasserhaushalt.

Enchyträen-Abundanzen wurden in geringfügiger Abwandlung der Methode von O'Connor (1967) bestimmt. Es wurde jeweils die ganze Humusauflage und getrennt davon die oberen 20 mm des Mineralbodens in 100-ml-Stechzylindern (Grundfläche 25 cm²) entnommen und aus den in den Stechzylindern belassenen Proben die Enchyträen unter Wasser ausgetrieben.

Enchyträenlosungen waren im Untersuchungsmaterial als kleine Aggregate von 60—100 µm Durchmesser ausgebildet. Sie wurden nach der Punktzählmethode in den Anschliffen in % des Bodenvolumens bestimmt (vgl. Babel & Christmann 1983). Vergrößerung 40×, Strichgitter 20×20 mit Punktabständen von 133 µm im Objekt. Untersucht wurde die Tiefe von 0—10,6 mm unter MBO. Zwei Klassen wurden unterschieden: (1) lose Losungen (Umriß zu mindestens 80% sichtbar) und (2) verbackene aber noch sicher ansprechbare Losungen.

Feinwurzeln wurden ebenfalls stereologisch an Anschliffen bestimmt. Die Wurzellängendichte $J_V$ [cm/cm³] ist nach WEIBEL (1979): $J_V = 2\,Q_A$. (Darin ist $Q_A$ die Zahl der Wurzelschnittprofile auf der untersuchten Anschlifffläche A [cm²].) Gezählt wurden getrennt nach Humushorizonten Wurzeln $<600\,\mu m$; meist waren sie 150—300 $\mu m$ dick. Lebende Wurzeln wurden vorwiegend aufgrund eines hellen Zentralzylinders von toten unterschieden (weitere Kriterien sowie weitere Methoden zur Wurzeluntersuchung in V.-TH. 1983).

Das Pilzhyphen-Wachstum wurde in Anlehnung an WAID & WOODMAN (1957) an Nylon-Netzen, die für 4 Wochen in den Boden gebracht waren, bestimmt. Die Netze hatten eine lichte Maschenweite von 40 $\mu m$ und wurden in $10 \times 100$-mm-Streifen vertikal ab Bodenoberfläche in den Boden geschoben. Gezählt wurde bei mittlerer Mikroskopvergrößerung die Anzahl der Pilzhyphen, die durch die Maschen gewachsen waren.

Die Zellulosezersetzung als Test auf die mikrobielle Abbauaktivität wurde nach TESAŘOVA & UHLELOVA (1968) durch den Massenverlust von Filterpapieren 6 cm $\times$ 6 cm nach 4wöchiger Inkubation im Boden (vertikal, ab Bodenoberfläche) bestimmt.

## 4. Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 3, 4, und 5 dargestellt. Dort sind auch statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Varianten vermerkt.

Zu den Regenwurmabundanzen (Abb. 3) ist ergänzend zu sagen, daß in allen 24 Kleinflächen juvenile Tiere weit überwogen. Nur 2 Arten konnten bestimmt werden, und zwar auf allen 4 Varianten *Lumbricus rubellus* (HOFFMEISTER, 1843) und *Octolasium lacteum* (ÖRLEY, 1881).

Von den Wurzelergebnissen (Abb. 5) werden hier nur die vom Hr-Horizont mitgeteilt; dort waren die Unterschiede in den Wurzelbeständen zwischen den Versuchsvarianten am größten (und zwar in derselben Richtung wie nach der Rhizoskop-Methode — siehe V.-TH. 1983 und VAVOULIDOU-THEODOROU & BABEL 1986).

## 5. Diskussion

Zunächst sollen die Ergebnisse der einzelnen Merkmale diskutiert werden. Sie sind jedoch weniger als solche von Interesse. Vielmehr werden sie benutzt, um die Vorstellungen zur Dynamik sowohl des Wuchsstörungshumus als auch seiner Veränderung klarer zu machen. Das wird im zweiten Teil der Diskussion behandelt.

Statistisch nicht signifikante Unterschiede werden im allgemeinen in dieser Diskussion gar nicht betrachtet — wegen der naturgemäß enormen Streuungen und der aufwandbedingt geringen Stichprobenumfänge auch dann nicht, wenn sie groß sind.

Die Regenwürmer (Abb. 3) haben sich am Ende des 5monatigen Versuchs weitgehend aus der wechseltrockenen Variante entfernt. Daß Gleichtrockenheit nicht denselben Effekt gehabt hat, bedeutet, daß 60% der Niederschläge, wenn sie gleichmäßig verteilt sind, an jenem Standort noch ausreichen. (Der permanente Welkepunkt, pF 4,2, wurde im Mineralboden nie überschritten, aber im September annähernd erreicht.)

Die Farbheterogenität als Ausdruck der Regenwurmaktivität hebt die frisch-feuchte Variante über alle anderen hinaus. Zusätzliches Wasser fördert also, was für die Dynamik des Wuchsstörungshumus wichtig ist, die Regenwurmaktivität auch im Vergleich zur normalen Durchfeuchtung. Daß hier Wechseltrockenheit sich nicht von Gleichtrockenheit und Normalverhältnissen unterscheidet, kann daran liegen, daß eine beträchtliche Farbheterogenität, die bei Versuchsbeginn als „Untergrund" vorhanden war, bei ziemlich geringer bis sehr geringer Regenwurmaktivität nicht erkennbar verringert wird.

Die Grenzlinienlänge des MBO wird durch Feuchte erhöht: hier macht sich Vermischung von Material der Humusauflage mit Mineralbodenmaterial bemerkbar. (Der Ausgangswert für die frisch-feuchte Fläche zu Versuchsbeginn, also der Normalwert für den Wuchsstörungshumus an diesem Standort, kann wohl kaum über dem Endwert der wechseltrockenen Fläche gelegen haben.) Eine Abnahme der Mächtigkeit der Humusauflage oder ihrer Horizonte konnte übrigens nicht direkt gefunden werden: Vor allem war das Material des untersten Auflagehorizontes (H) als solches, wenn auch nicht in guter Horizontierung, noch vorhanden und wurde deshalb bei der Feststellung der Mächtigkeiten mitgemessen.

Die Enchyträen (Abb. 4) wurden auf der frisch-feuchten Variante nicht deutlich gegenüber der unbeeinflußten gefördert. Die durchschnittlichen Feuchteverhältnisse sind also für sie an diesem Standort durchaus etwa optimal. Das überrascht. Denn DUNGER (1983) gibt für viele Arten eine „absolute Schädigungsgrenze" zwischen *p*F 3 und 4 an, und für Regenwürmer ist die frisch-feuchte Variante attraktiver. (Die Enchyträen hätten praktisch nicht zuwandern können, aber sich in der 5monatigen Versuchszeit verstärkt vermehren.)

Beide Trockenvarianten zeigten erwartungsgemäß signifikant geringere Enchyträenzahlen. (Da die Arbeit nicht das Verhalten von Enchyträen, sondern ihre Einwirkung auf die Humusauflage und den Grenzbereich zum Mineralboden im Auge hatte, wurden Enchyträenabundanzen unterhalb 2 cm unter MBO nicht untersucht.)

Diese Verhältnisse für die Enchyträen sind nicht etwa Resultat momentaner Vertikalwanderungen kurz vor der Probenahme, denn sie spiegeln sich deutlich in den Ergebnissen für die Enchyträen-Losungen, die ja die Folgen der Enchyträen-Aktivität über einige Zeit — wohl einige Wochen — integrieren. Die Zahlen zeigen auch, daß dieses humusmikromorphologische Merkmal rasch der Enchyträen-Aktivität folgt. (Die Losungen sind nicht sehr stabil, offensichtlich im Unterschied zu der bei Regenwürmern diskutierten Farbheterogenität.)

Die Unterschiede, die nach 5monatigem Versuchs in den Feinwurzel-Konzentrationen (Abb. 5) existieren, zeigen, daß durch Wechseltrockenheit in der Humuslauflage eine erhöhte Wurzelproduktion ausgelöst wird. Das entspricht unserer früheren Hypothese. Es fällt freilich auf, daß die unbeeinflußte Variante sich nicht von der frischfeuchten unterscheidet (übrigens auch nicht in anderen Horizonten und nicht nach Netz- und Rhizoskop-Methode).

Das Pilzhyphenwachstum im H und Ah war durch Erhöhung der Wasserzufuhr reduziert. (Schon früher wurde durch mehrere Untersuchungsansätze gezeigt, daß umgekehrt die trockeneren Stellen in den Wuchsstörungsflächen die stärker verpilzten waren — BABEL 1981a.) Genau so wichtig ist aber, daß zusätzliche Trockenheit das Wachstum gegenüber den Normalverhältnissen nicht deutlich erhöht hat. Es ist also mäßige, nicht aber sehr ausgeprägte Trockenheit, die die Pilzhyphenentwicklung fördert.

Die Ergebnisse des Zellulosezersetzungs-Tests sind in dem Teil, daß die frisch-feuchte Variante die höchste mikrobielle Aktivität zeigt, naheliegend. Der Unterschied zwischen Gleich- und Wechseltrockenheit, der hier zugunsten der Wechseltrockenheit liegt, stellt einen interessanten Kontrast dar zum Verhalten der Regenwürmer und Enchyträen. Es handelt sich um die bekannte Förderung der Mikroorganismen-Aktivität durch Austrocknung-Wiederbefeuchtung.

Für die Dynamik des „Wuchsstörungs-Humus" ergibt sich an diesem Standort folgendes Bild, das z. T. die alte Vorstellung (BABEL 1981a) bestätigt, sie z. T. modifiziert. Der Wuchsstörungs-Humus ist hier mäßig trocken, wie die Verpilzung zeigt, und zwar mit Tendenz zur Wechseltrockenheit, wie die hohe Wurzelproduktion und durch sie die hohen Feinwurzelbestände zeigen. Eine extreme Trägheit der Umsetzungen liegt jedoch nicht vor, die Wechseltrockenheit sorgt sogar für relativ starke mikrobielle Abbauleistungen. (Im längerfristigen Vergleich mit einem Fichten-Mull auf Terra fusca ist nach V.-TH. 1983 die Zellulosezersetzung genau gleich.) Vor allem aber ist durchaus Enchyträen- und vor allem eine gewisse Regenwurmtätigkeit vorhanden. Beide werden erst durch mehrwöchige Perioden ohne Niederschläge auf extrem niedrige Werte reduziert.

Interessant ist das Auftreten der mittelgroßen Regenwurmarten *Lumbricus rubellus* (epigäisch) und *Octolasium lacteum* (endogäisch), die in Humusformen mit wohlausgebildeten H-Horizonten (Moder und Rohhumus nach v. ZEZSCHWITZ 1976) normalerweise nicht auftreten, wenigstens nicht in atlantisch getönten Klimaten (viele Beobachtungen von BABEL in Nordwestdeutschland; SATCHELL 1967 fand in England *L. rubellus* zwar in „moder" oder „mor" unter Laubwald, aber nicht unter Fichte). *L. rubellus* verarbeitet in der Untersuchungsfläche zwar die Humusauflage durch Fraß im F- und H-Horizont und durch Vermischung mit dem Ah. Er ist aber in Individuenzahlen und Aktivitäten offenbar so schwach, daß eine Humusauflage mit H-Horizont ständig bestehen bleibt. Wahrscheinlich hemmen ihn die in der Humusauflage, im Gegensatz zum Mineralboden, recht häufig geringen Feuchte.

(In der unbeeinflußten Variante c waren in der Auflage nur an 3 von 10 14täglichen Untersuchungsterminen die *p*F-Werte deutlich niedriger [feuchter] als 4,2.) Welche Rolle mikrobielle Vorzersetzung für die Aufnehmbarkeit der toten Fichtennadeln und -feinwurzeln für *L. rubellus* spielt, wäre noch zu klären. Möglicherweise ist eine Humusauflage unter Fichte für *L. rubellus*, der die Nadeln nicht in den Boden zieht, einfach als Vorzersetzungsraum erforderlich (s. ZICSI & POBOZSNY 1977). In Präferenzversuchen von HAESE (1985) wurden Kiefernnadeln aus dem F-Horizont eines Wuchsstörungshumus doppelt so gern von *L. rubellus* angenommen wie solche aus dem L-Horizont.

Durch die Tätigkeit von *L. rubellus* gehört das untersuchte Humusprofil nicht zur Humusform Moder, wenigstens nicht zu einer der bisher beschriebenen Formen (Kartieranleitung der Geologischen Landesämter der BRD, die dortigen Definitionen folgen v. ZEZSCHWITZ 1976: im Unterschied zum Mull ein wohlausgebildeter H-Horizont). Es wäre eine Zuordnung zum Tangel möglich, den KUBIENA (1953) in den Alpen beschrieben hat, wobei er allerdings überwiegend an sehr mächtige Humusauflagen gedacht hat. (Der von BOCHTER 1984 zum Oligotrophen bis Dystrophen hin verlagerte Tangel-Begriff ist natürlich etwas ganz anderes.) In laufenden Untersuchungen in der Umgebung von Stuttgart, vor allem im Schönbuch wurden des öfteren Humusauflagen mit wohlausgebildetem H-Horizont und mit *L. rubellus* gefunden, die von uns provisorisch Wurm-Moder genannt werden.

Vor allem wichtig ist die Frage, ob diese Humusprofile stabil sind oder nur Übergangsstadien von Mull zu Moder oder umgekehrt. Übergang von Mull zu Moder wäre bei langsamer Schädigung der Regenwurmpopulationen denkbar, z. B. durch „saure Niederschläge" oder eine Ausbreitung von Pflanzen wie Fichte oder Zwergsträuchern, deren Streu sie nicht mögen. Übergang von Moder zu Mull wäre durch Verbesserung der Lebensbedingungen im Humusprofil möglich, z. B., wie der Versuch zeigt, durch höhere Niederschläge oder auch durch Düngung. Höhere Niederschläge an der Bodenoberfläche werden ohnehin in Fichtenbeständen, die sehr dicht gepflanzt worden waren, bei Verlichtung des Baumbestandes erhalten. (Dieses Stadium war in der Untersuchungsfläche noch nicht erreicht.) Es würde sich dann um einen Vorgang im normalen Zyklus der Humusprofilentwicklung im Laufe der Bestandsentwicklung handeln. (Unter anderen Verhältnissen wurden solche Zyklen von BLANCKMEISTER 1931 und von BABEL 1981b untersucht, Teilaspekte auch von PAGE 1968 und von HALLBÄCKEN & TAMM 1986.) Dort wo allerdings eine starke Störung in den Oberböden vorgelegen hat, die auf unpflegliche Weidemaßnahmen und danach sehr dichte Aufforstung mit Fichte zurückgeht, kann man mit einer grundsätzlichen Verbesserung, einer Regradierung der Humusprofile rechnen. Gerade dieses ist hier der Fall. Die Untersuchungsfläche war vor der Begründung des Fichtenbestandes extensive Schafweide, die Oberböden dürften an Regenwürmern stark verarmt gewesen sein. (Dies wurde von HAESE 1985 in Voruntersuchungen auf ähnlichen Flächen bei Fridingen/Schwäbische Alb gefunden; auf denselben Flächen wurde eine Zunahme von Regenwurmtätigkeit nach Wiederbewaldung von Schafweide durch BABEL & LENGOC 1977 nachgewiesen.) (Andere Beispiele der Regradierung von Moder und von Rohhumus unter besonderer Berücksichtigung der Regenwurmtätigkeit gibt LAMPARSKI 1985.)

Eine Regradierung des Auflagehumusprofils, das sich zunächst nach Wiederaufforstung gebildet hatte, dürfte also auf der Fläche in Gang sein. Sie würde durch Auflichtung, weil dann die Niederschläge den Boden besser erreichen, gefördert werden, wie die zusätzliche Bewässerung im Versuch gezeigt hat. Die Humusauflage würde weiter mit dem Mineralboden vermischt, auch die Verarbeitung der Humusauflage durch Enchyträen würde wahrscheinlich zunehmen. (In einem früheren Versuch auf extremem Wuchsstörungs-Humus war bei höherer Feuchtigkeit Zunahme von Enchyträen und erhebliche Verstärkung der Streuverarbeitung im Fm-Horizont — Überführung in einen Hr — gefunden worden [BABEL 1977]. SCOHY *et al.* 1984 fanden eine Enchyträen- und vor allem eine Regenwurmzunahme nach Auflichtung von Fichtenbeständen in Belgien.) Insbesondere die hohe Wurzelproduktion, die ja, indem sie stark auf die Mineralbodenoberfläche konzentriert ist, zu einem guten Teil zur Bildung der Humusauflage beiträgt, würde nach Rückgang der Trockenheit und der Humusauflage zurückgehen. Auch das zunächst oft auffallendste Merkmal, die starke Ver-

pilzung, würde weitgehend oder ganz verschwinden. Entstehen würde schließlich ein Mull mit nur stellenweiser oder zeitweiser Hemmung der Streuzersetzung.

Wie weit nun tatsächlich auf einer gegebenen Fläche diese Regradierung geht, ist sicher auch abhängig davon, ob auch anezische Regenwurmarten auftreten. Auf den genannten wiederbewaldeten Flächen bei Fridingen wurde die anezisch lebende große Unterart *friendoides* von *L. rubellus* gefunden (BABEL 1976).

## 6. Dank

Wir danken den Herren Prof. Dr. G. SCHLENKER und Dr. F. H. EVERS und anderen Mitgliedern der Forstlichen Versuchsanstalt Baden-Württemberg für anregende Diskussionen, dem Forstamt Engstingen und Herrn H. M. MAIER-KÜHNE, Hohenheim, für Hilfe im Gelände, und der Deutschen Forschungsgemeinschaft für finanzielle Unterstützung.

## 7. Literatur

ALTEMÜLLER, H. J., 1962. Verbesserung der Einbettungs- und Schleiftechnik bei der Herstellung von Bodendünnschliffen mit Vestopal. Z. Pfl.-Ernähr. Düng. Bodenkd. **99**, 164—177.

BABEL, U., 1971. Gliederung und Beschreibung des Humusprofils in mitteleuropäischen Wäldern. Geoderma **5**, 297—324.

— 1976. Ein Vorkommen von *Lumbricus rubellus friendoides* in der Bundesrepublik Deutschland. Jahreshefte Ges. Naturkunde in Württemberg **131**.

— 1977. Influence of high densities of fine roots of Norway spruce on processes in humus covers. Ecol. Bull. Stockholm **25**, 584—586.

— 1981a. Humusmorphologische Untersuchungen in Nadelholzbeständen mit Wuchsstörungen. Mitt. Ver. Forstl. Standortskunde **29**, 7—20.

— 1981b. Humusprofiländerung bei Buchen-Naturverjüngung. Allg. Forst- und Jagdzeitung **152**, 211—216.

— & A. CHRISTMANN, 1983. Vergleichende mikromorphometrische Untersuchungen der Humusprofile in 2 Buchenbeständen Geoderma **31**, 239—264.

— & B. LENGOC, 1977. Regradierung von Mergelböden nach Schafweidenutzung. Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. **25**, 313—319.

BECKMANN, G. G., & K. J. SMITH, 1974. Micromorphological changes in surface soils following wetting, drying and trampling. pp. 832—845. In: G. K. RUTHERFORD (ed.), Soil Microscopy. 857 pp., The Limestone Press, Kingston Press, Kingston, Ontario.

BLANCKMEISTER, J., 1931. Über die Entwicklung der Humusauflage in den Nadelholzbeständen im Laufe des Bestandeslebens. Diss. Forstl. Fakultät (Tharandt), Techn. Hochschule Dresden.

BOCHTER, R., 1984. Bodenbildung auf Kalk- und Gneisbergsturzblöcken unter subalpinem Fichtenwald. Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd. **147**, 604—613.

DUNGER, W., 1983. Tiere im Boden (3. Aufl.). 280 pp., Die Neue Brehm-Bücherei. Ziemsen-Verlag, Wittenberg, Lutherstadt.

HAESE, R., 1985. Oberböden und Regenwurmpopulationen auf Wacholderheiden der Schwäbischen Alb. 30 pp., Diplomarbeit Inst. Bodenkunde Standortslehre, Fak. Pflanzenprod., Univ. Hohenheim, Stuttgart.

HALLBÄCKEN, L., & C. O. TAMM, 1986. Changes in soil acidity from 1927 to 1982—1984 in a forest area of south-west Sweden. Scand. J. For. Res. **1**, 219—232.

KUBIENA, W., 1953. Bestimmugsbuch und Systematik der Böden Europas. 392 p., Enke, Stuttgart.

LAMPARSKI, F., 1985. Der Regenwurm *Lumbricus badensis* — seine Wohnröhre, seine Verbreitung und sein Einfluß auf die Böden im Südschwarzwald. 327 p., Diss. Geowiss. Fak., Universität Freiburg.

MAIER-KÜHNE, H. M., & U. BABEL, 1987. On estimation of roughness of pore/solid-boundaries in soil thin sections. Geoderma **40**.

MÜLLER, S., 1971. Oberbodenstörungen und Erosionsschäden bei Waldstandorten. Forst- u. Holzwirt **26**, 217—219.

O'CONNOR, F. B., 1967. The Enchytraeidae. pp. 213—257. In: A. BURGES & F. RAW (eds.), Soil biology. 532 pp., Acad. Press, London.

PAGE, G., 1968. Some effects of conifer crops on soil properties. Commonwealth Forest. Rev. **47**, 52—62.

RAW, F., 1959. Estimating earthworm populations by using formalin. Nature (London) **184**, 1661—1662.

SATCHELL, J., 1967. Lumbricidae. pp. 259—322. In: BURGES, A., & F. RAW (eds.), Soil Biology. 532 pp., Acad. Press, London.

SCOHY, J. P., P. ANDRÉ & P. LEBRUN, 1984. Influence des intensités d'éclaircie sur les populations de macro-arthropodes et d'annelides dans les litières d'épicéa. Pedobiologia **26**, 179—184.

Tesařova, M., & B. Uhlelova, 1968. Abbau der Zellulose unter einigen Wiesengesellschaften. pp. 277—287. In: Anonym. Mineralisation der Zellulose. Deutsche Akad. Landwirtsch.-wiss., Tagungsber. 98.
Vavoulidou-Theodorou, E., 1983. Feinwurzeldynamik und Humusdynamik im Humusprofil von wuchsgestörten Fichtenbeständen. 167 pp., Diss. Fak. Pflanzenproduktion Landschaftsökologie, Univ. Hohenheim.
— & U. Babel, 1986. Zur Wurzelproduktion in Wäldern — Methoden und Ergebnisse. Allg. Forst- und Jagdzeitung **157**, 232—238.
Waid, J. S., & M. J. Woodman, 1957. A method of estimating hyphal activity in soil. Pedobiologie VII no. spécial, pp. 155—158 (Gent).
Weibel, E. W., 1979. Stereological methods. Vol. 1: Practical methods for biological morphometry. 415 pp., Academic Press, London.
Zezschwitz, E. von, 1976. Ansprachemerkmale der terrestrischen Waldhumusformen des nordwestdeutschen Mittelgebirgsraumes. Geol. Jb. F3, 53—105.
Zicsi, A., & M. Pobozsny, 1977. Einfluß des Zersetzungsverlaufs der Laubstreu und die Konsumintensität einiger Lumbriciden-Arten. pp. 229—239. In: Lohm, U., & T. Persson (eds.), Soil organisms as components of ecosystems. Ecol. Bull. (Stockholm) **25**.

Addressen der Autoren: Prof. Dr. Ulrich Babel (Korrespondierender Autor), Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim, D - 7000 Stuttgart 70; Dr. Evangelia Vavoulidou-Theodorou, Institute for Soil Survey IXTEL, Theofrastoustr., Larisa, Griechenland.

**Synopsis:** *Original scientific paper*
Vavoulidou-Theodorou, E., & U. Babel, 1987. Ein Bewässerungsversuch zur Dynamik von Humusprofilen in Nadelholzbeständen mit Wuchsstörung [An irrigation experiment on the dynamics of humus profiles in coniferous forests with pathologically low growth efficiency]. Pedobiologia **30**, 389—399.

In spruce stands in south-western Germany, which have a pathologically low growth efficiency, the humus profiles are characterized by three striking features: medium to thick humus layers containing a high density of fungal hyphae and fine roots (which are mostly dead). The object of an irrigation experiment in one of these stands, on dolomite rendzina, was to find out the effect of drought on biological processes in these humus profiles.

In the rain-fed plots the activity of earthworms was reduced but the growth of fungal mycelium and the decomposition of cellulose was higher than in the irrigated plots (150% of natural rainfall). When a low but evenly distributed irrigation (60% of natural rainfall) was applied, the abundance of enchytraeids and their feeding activity decreased. In response to a low and unevenly distributed irrigation, the abundance of earthworms decreased and the production of fine roots of spruce increased.

These results suggest that increased water input to a transitional humus form, as might occur by a thinning of the tree stand, could cause a shift in key biological processes leading to the development of mull.
**Key words:** Lumbricus rubellus, Enchytraeidae, fungal mycelium, cellulolytic microorganisms, mull, moder, Norway spruce, moisture stress, thinning.